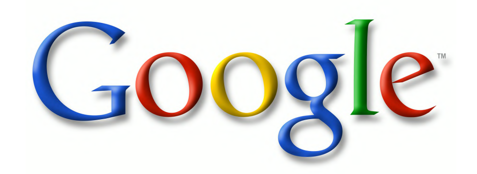
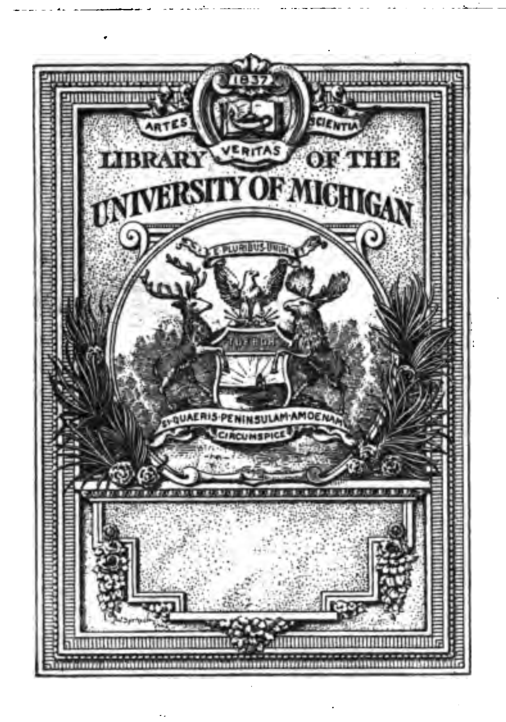
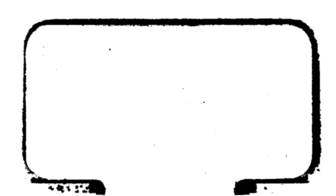



1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



Die Entwicklung und der gegenwärtige Stand der Atomtheorie

in Umrissen skizziert

von

Dr. Georg Lockemann
Privatdocenten für Chemie an der Universität Leipzig



Heidelberg 1905
Carl Winter's Universitätsbuchhandlung

Verlags-Archiv Nr. 28.

Sr. Hochwürden

Herrn D. theol. Dr. phil.

Ernst Friedrich Wyneken

Pastor zu Edesheim in Hannover

widmet diese Blätter

zu seinem 65. Geburtstage am 12. April 1905

als ein kleines Zeichen unauslöschlicher Dankbarkeit

der Verfasser.

Vorwort.

Einer Anregung von hochgeschätzter Seite folgend wage ich es, meinen am 17. Dezember 1904 als Probevorlesung gehaltenen Vortrag über die Entwicklung und den gegenwärtigen Stand der Atomtheorie in etwas erweiterter Form hiermit der Öffentlichkeit zu übergeben.

Daß die nachfolgenden Blätter durchaus nicht den Anspruch auf Vollständigkeit und erschöpfende Darstellung machen können, vielmehr nur den Charakter einer andeutenden Skizze tragen, ist bei der schier unermeßlichen Fülle des hier in Betracht kommenden Materials wohl kaum anders zu erwarten. Und die hier berührten Fragen historisch und kritisch eingehender zu erörtern, dazu fehlen mir vorläufig nicht nur Zeit und Muße, sondern vor allem auch die erforderlichen Kenntnisse des Fachphilosophen. Denn die Atomistik ist im letzten Grunde eine philosophische Angelegenheit, oder sie steht zum mindesten auf dem Grenzgebiete zwischen Naturwissenschaft und Philosophie. Ihr völlig gerecht zu werden erfordert also eine möglichst vollständige Beherrschung beider Gebiete. Das konnte z. B. ein *Gustav Theodor Fechner* oder neuerdings *Kurd Laßwitz,* dessen groß angelegte Geschichte der Atomistik bisher leider ein Torso geblieben ist, aber hoffentlich nicht bleiben wird. — Uns Naturwissenschaftlern jedoch fehlen immer noch sechs Semester reine Philosophie. —

Was ich in der Beziehung mein eigen nennen darf, verdanke ich — nächst den durch *Kuno Fischers* glänzende Beredsamkeit empfangenen Anregungen — in erster Linie der unermüdlichen Liebenswürdigkeit und dem warmen In-

teresse des Herrn Pastor D. Dr. *Wyneken.* Und wenn ich hier die Gelegenheit benutze, diesem einsamen Philosophen meinen ehrerbietigsten und herzlichsten Dank auszusprechen, so treibt mich dazu nicht allein die Pflicht des Schülers dem hochverehrten Lehrer gegenüber: mein Dank gilt ganz besonders dem leitenden und fördernden Wirken des väterlich-liebevollen Freundes. —

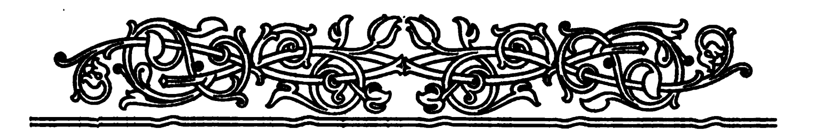
Sachlich ist noch folgendes zu bemerken: Zur Erleichterung des historischen Überblicks ist den Namen der zitierten Denker und Forscher — abgesehen von den der Gegenwart angehörenden — die Lebenszeit beigefügt, soweit sich dieselbe ermitteln ließ. Die Literaturangaben im Text sind auf das notwendigste beschränkt; am Schlusse des Heftes findet sich dagegen eine Zusammenstellung von Büchern, welche über die behandelten Fragen in kompendiöser Weise Auskunft geben. Dabei sind Abhandlungen aus Spezialzeitschriften nicht berücksichtigt; sie würden nur den Fachgelehrten interessieren, und sind ihm so wie so bekannt oder leicht zugänglich.

Möge man diese Skizze mit freundlicher Nachsicht aufnehmen und auch da, wo sie vielleicht verzeichnet erscheinen sollte, nicht vergessen, daß es nicht des Verfassers Absicht war, ein für allemal abschließende Urteile und Anschauungen zu geben. Der Zweck der nachfolgenden Zeilen wäre erreicht, wenn es ihnen gelänge, andere zu eigenem Studium und selbständigem Nachdenken über diese letzten Fragen der Naturwissenschaft anzuregen.

Sülbeck in Hannover, Frühlingsanfang 1905.

Georg Lockemann.

Inhaltsübersicht.



Die Atomtheorie ist in ihren ersten Anfängen weit älter, als die exakten Naturwissenschaften.

Wenn wir von einigen atomistischen Anklängen in der Philosophie des alten indischen Weisen *Kanada*[1] absehen, so finden wir den Atombegriff zum erstenmal deutlich ausgesprochen bei dem Volke, welches die Neigung zum abstrakten Denken mit einer unerreichten Fähigkeit des konkreten künstlerischen Darstellens verband, bei den Griechen. Die griechische Philosophie eröffnete um das Jahr 600 vor Christus die neuere Zeit des Altertums, indem sie versuchte, die Tatsachen der Außenwelt im Begriffe zu bringen, diese ganze Welt der Erscheinungen gedanklich zu überwinden. Und bei all dem offenen, naiven Natursinn entsprach es doch dem aristokratisch-künstlerischen Charakter der hellenischen Kultur, nicht auf die mühsame, langwierige Weise des Experiments, also induktiv die Wahrheit zu erforschen, sondern lediglich das entgegengesetzte Verfahren anzuwenden, welches die Souveränität der geistigen über die Erscheinungswelt so recht zum Ausdrucke bringt, die Methode der Deduktion.

Aus der zunächst sich darbietenden Frage nach dem Grundstoff und der Grundform, dem Thema der jo-

[1] s. *C. J. H. Windischmann,* Die Philosophie im Fortgange der Weltgeschichte, I. Teil: Die Grundlagen der Philosophie im Morgenland. (Bonn, 1827–1834). 3 Bde. S. 1914 ff.

nischen[2] und *pythagoräischen*[3] Philosophie, ergab sich naturgemäß das Problem des Weltgeschehens, die widerspruchsvolle Tatsache des Werdens, des Entstehens und Vergehens, zu erklären. Entweder es gibt ein wandelloses unveränderliches Sein, und alles andere ist Täuschung, oder die Veränderung, d. h. daß ein Ding zugleich dasselbe und nicht dasselbe sein soll — das Werden — ist zwar widerspruchsvoll, unerklärbar, aber notwendig und ursprünglich.

Das sind die beiden entgegengesetzten Anschauungen, wie wir sie bei den Eleaten[4] einerseits, bei *Heraklit* (ca. 535—475) anderseits finden. Aber hierdurch wird nichts erklärt, abgeleitet; das entstandene Dilemma vielmehr nur schärfer hervorgehoben und klar hingestellt.

Den ersten Versuch, diese Antithesen zu einem einheitlichen System zusammen zu fassen, machte *Empedokles* (ca. 492—432), indem er vier ewige Elemente annahm: Erde, Wasser, Luft und Feuer, welche durch die zwei Grundkräfte: Liebe und Haß vereinigt oder getrennt werden. Und zwar versteht er unter diesen Elementen nicht eigentlich Grundstoffe, sondern verschiedene Eigenschaften derselben Urmaterie, aus deren wechselnder Mischung und Entmischung die bunteste Erscheinungswelt hervorgeht. Diese Anschauungsweise wurde später von *Aristoteles* (384—322), der noch den Äther als quinta essentia hinzufügte, weiter ausgebildet und herrschte das ganze Mittelalter hindurch bis tief in die Zeit der Renaissance.

Auch in der Physik der sogenannten stoischen Schule, gegründet von *Zeno* aus Kittion (ca. 354—256), finden wir die *empedokleische* Elementenlehre unter gleichzeitiger Ver-

---

[2] Die Hauptvertreter der jonischen Philosophie: *Thales* von Milet (640—550), *Anaximander* (geb. 611), *Anaximenes* (um 530).

[3] *Pythagoras* aus Samos (ca. 582—500).

[4] Die Hauptvertreter der eleatischen Schule: *Xenophanes* aus Kolophon (geb. ca. 569), *Parmenides* aus Elea (geb. ca. 515), *Zeno* (geb. ca. 490).

bindung mit *Heraklits* Prinzip der steten Veränderung. Das Feuer, die eigentliche Gottheit der Stoiker, läßt die übrigen Elemente und damit die ganze Welt überhaupt aus sich heraus und in sich zurück·gehen; die Weltperioden schließen im Weltbrande des Urfeuers ab, und ein neuer Kreislauf des Entstehens und Vergehens beginnt.

Auf eine andere Weise suchten *Leukipp* und *Demokrit* von Abdera (ca. 460—370) das eleatische und heraklitische Prinzip zu kombinieren. Sie sind die eigentlichen Begründer der Atomtheorie, als deren Problem bezeichnet werden kann: die Möglichkeit des Werdens und Vergehens, d. h. aller natürlichen Veränderungen, unter Voraussetzung für sich seiender unveränderlicher Urwesen zu erklären.

Das Seiende ist nicht zu denken als Eines, sondern als Vieles, als unveränderliche, unteilbare, qualitätsgleiche, nur der Größe und Gestalt nach verschiedene Stoffteilchen, durch deren Trennung und Verbindung, verschiedene Lage und Anordnung die Mannigfaltigkeit der Erscheinungswelt zustande kommt. Diese Atome im Raume sind das Volle, Seiende im Leeren, Nichtseienden; das bei allem Wechsel der Erscheinungen Beharrende. Es gibt keine Willkür, keinen Zufall, aber auch keinen Zweck; die Stoffe gehorchen mit Notwendigkeit der ihnen innewohnenden Kraft, der ἀνάγκη. Damit ist in konsequentester Form die rein mechanische Naturerklärung mit all ihren Vorzügen und Schwächen durchgeführt; *Demokrit* ist der eigentliche Begründer des wissenschaftlichen Materialismus.

Im Gegensatz zu *Demokrit* vertrat der etwas ältere *Anaxagoras* von Klazomenae (ca. 500—428) den qualitativen Atomismus. Auch er leugnete das Werden im strengen Sinne des Wortes. Die Dinge werden oder vergehen nicht, sondern werden aus vorhandenen, unveränderlichen Stoffen gemischt oder entmischt. Diese letzten

Mischungselemente sind qualitativ bestimmte Urstoffe, die „Samen" der Dinge; in der späteren Philosophie als Homoeomerien bezeichnet. Ursprünglich in einem ordnungslosen Chaos, werden sie von dem göttlichen Geiste, dem νοῦς, in Bewegung gesetzt, was zur Folge hat, daß sich gleichartige Bestandteile miteinander verbinden und ein wohlgeordnetes Universum entsteht. Während bei *Demokrit* jeder Zweckbegriff aus der Natur verbannt ist, führt *Anaxagoras* das immaterielle Prinzip der nach Zwecken handelnden göttlichen Vernunft ein; bei ihm treffen wir auf die ersten Keime zur Vorstellung eines Mikro- und Makrokosmos.

Der größte griechische Philosoph des vierten vorchristlichen Jahrhunderts, *Aristoteles* von Stagira (384—322), erklärte die Atomtheorie für unnötig und, da die Stoffteilung zur endlosen Teilung führen müßte, für unzulässig. Dagegen finden wir in der späteren Zeit noch *Epikur* (342—270) als eifrigen Anhänger der *demokritischen* Lehre, die er nur insofern noch modifizierte, als er den Atomen außer Gestalt und Größe auch Schwere zuschrieb.

Mit der Schule dieses „Philosophen der Glückseligkeit" und mit der stoischen schließt eigentlich die griechische Philosophie — insofern sie sich in einheitlichen, rein intellektuell und sittlich begründeten Systemen darstellt — vollständig ab. Über 200 Jahre später erstand ihm in dem Römer *Titus Lucretius Carus* (95—52) ein begeisterter Verehrer, der die atomistische Physik in einem großen Lehrgedichte „De rerum natura" verherrlichte.

Mit dem Verfall der alten Kultur und dem Beginn der christlichen Zeit treten alle natur-philosophischen Interessen in den Hintergrund. Religiöse Fragen bewegen die Gemüter, und die entstehende Kirche schickt sich an, das Erbe der politischen Macht Roms zu übernehmen und

auszunutzen. Das Selbstbewußtsein zieht sich auf sich selbst zurück, das Interesse an der Erscheinungswelt erlahmt, und allmählich tritt ein völliger Bruch zwischen Geist und Natur ein. Die Scholastik, welche besonders vom elften Jahrhundert an ihre Herrschaft immer mehr ausbreitet, drückt dem ganzen Mittelalter nach der Seite der naturwissenschaftlichen Betrachtung den Stempel der geistigen Sterilität auf. Statt positiver Errungenschaften und Erkenntnisse gibt sie kritiklos ein durch Jahrhunderte geheiligtes, in überlieferten Vorurteilen und Irrtümern festgeschnürtes System von Begriffen und Ausdrücken. Dieser Dogmatismus lebt hauptsächlich von der Autorität des nur unvollkommen und dürftig bekannten *Aristoteles* und des arabischen Philosophen *Averroës* (um 1180 n. Chr.), der den großen Stagiriten erst recht eigentlich im Abendlande einführte.

Die Naturforschung, ganz in dem Banne der *empedokleisch-aristotelischen* Elementenlehre, betrachtete als ihr Hauptziel die Verwandlung der Metalle in das edelste derselben, das Gold; die Alchemie des Mittelalters wird direkt χρυσοποία genannt.

Im 15. Jahrhundert zeigten sich die ersten Vorboten einer neuen Zeit. Die Kulturwelt erwachte aus einem langen Schlafe. Die Zeit der Renaissance ist nicht nur eine Wiedergeburt des klassischen Altertums, sondern zugleich der Beginn einer eigenartigen, selbständigen Kulturperiode, welche in der Reformation ihren ersten Höhepunkt fand. Und dieser Befreiung der Geister von den Fesseln der kirchlichen Autorität hatte die Scholastik in der förderndsten Weise — und damit ihrem eigenen Untergange — vorgearbeitet. Ihre Formeln bildeten mit dem Theologenlatein ein gemeinsames Element geistigen Verkehrs für ganz Europa, wodurch die Verbreitung neuer Gedanken, besonders seit Erfindung der Buchdruckerkunst, nicht nur ermöglicht, sondern in hervorragender Weise beschleunigt wurde. Auf allen Ge-

bieten regte sich neues Leben; auch die erfahrungsmäßigen Naturwissenschaften kamen auf.

Die Entdeckung Amerikas war ein großartiger Triumph des Experiments, angestellt auf Grund einer wissenschaftlichen Überzeugung. Es folgten die großen Entdeckungen von *Copernicus* (1473—1543), *Kepler* (1571—1630), *Galilei* (1564—1642), welche eine vollständige Revolution der Denkweise und Weltanschauung hervorriefen. Die Natur kam wieder zu Ehren und wurde in ihrer Erhabenheit unmittelbarer Gegenstand der Anschauung und Erforschung.

Einer der frühesten und entschiedensten Anhänger des neuen Weltsystems war der genial-phantastische *Giordano Bruno* (1548—1600), welcher seine Überzeugungstreue mit dem Flammentode zu büßen hatte. In seiner Lehre vom „minimum" Atomistiker, faßte er dieses Kleinste nicht als Letztes der Teilung, sondern als Erstes der Zusammensetzung, als Monade.

Die Idee des experimentellen Empirismus wurde schon in entschiedener Weise von dem Italiener *Leonardo da Vinci* (1452—1519), dessen universelles Genie erst in neuerer Zeit gebührend gewürdigt wird, und dem Spanier *Ludovicus Vives* (1492—1540) vertreten. Sie suchten eine von *Aristoteles* und dem gesamten Altertum unabhängige Erfahrungswissenschaft zu gründen, nachdem bereits im Jahre 1348 als erster Vorläufer in dieser Richtung *Nicolaus de Auticuria,* auch ein Anhänger der Atomtheorie, in Paris zum Widerruf seiner ketzerischen Ansichten gezwungen worden war.

Als der eigentliche Reformator der Naturwissenschaften ist jedoch der Begründer der empiristischen Richtung in der neueren Philosophie *Francis Bacon* (1561—1626) anzusehen, welcher mit den Forderungen hervortrat: Geist und Sinne sind von abstrakten Vorurteilen zu reinigen, und alle Forschung ist auf die Erfahrung zurückzuführen. Das ist die Methode der wissenschaftlichen Empirie, der in-

duktiven Forschung. Erst von hier ab haben die Naturwissenschaften eine zusammenhängende fortlaufende Geschichte. *Bacon* war zugleich ein Anhänger *Demokrits*; ohne Annahme von Atomen glaubte er die Natur nicht erklären zu können. Jedoch faßte er die Atome nicht als metaphysische Substanzen, sondern als physikalische Partikeln des Körpers selbst auf, welche sich von diesem nur durch ihre Größe unterschieden und dicht aneinander gelagert — nicht wie bei *Demokrit* im leeren Raume schwebend — gedacht wurden. Er wandelte so die physikalische Atomistik in die sogenannte Corpusculartheorie um, deren erster entschiedener Vertreter in Deutschland *Daniel Sennert* (1572—1637) wurde.

Dieser Professor der Medizin, der in Wittenberg zu Beginn des 30jährigen Krieges wirkte, suchte die Chemie von den Lehren eines *Paracelsus* (1493—1541) und den daraus abgeleiteten mystisch-absurden Spekulationen zu befreien und hob zum erstenmal den Begriff des chemischen Stoffes als des in allen Verbindungen beharrenden hervor. Die Bildung des Rauches, die Vorgänge der Sublimation und Lösung benutzte er als experimentelle Stützen für seine atomistischen Anschauungen. Die letzten Einheiten sind auch für ihn nicht mathematische Punkte im leeren Raume, sondern physische minima naturae oder atoma corpuscula, welche wie bei *Bruno* zugleich den letzten Grad der Teilung und den ersten Anfang der Zusammensetzung aller Naturkörper darstellen. Seine Lehre von der Unveränderlichkeit der Elementarteile ward neben der Mechanik *Galileis*, durch welche zugleich der Kraftbegriff mit eingeführt wurde, die Grundlage der theoretischen Physik und Chemie.

Als eifriger Anhänger der Corpusculartheorie ist ferner der Provenzale *Pierre Gassendi* (1592—1655) zu nennen, welcher schon mit 19 Jahren als „Professor ohne Bart" in Aix Philosophie dozierte und die Hauptarbeit seines Lebens

einer gereinigten Wiederherstellung der durch die Autorität des *Aristoteles* geradezu verrufenen Lehren *Demokrits* und *Epikurs* widmete. Im übrigen bietet er wenig selbständig Neues: Sein Hauptverdienst besteht wohl darin, daß er wieder den Begriff des absolut leeren Raumes einführte, was vor allen den theoretischen Anschauungen und Berechnungen der Physik zugute kam.

Indem *Gassendi* die bewegten Atome für göttliche Geschöpfe erklärte, erlöste er die Atomistik von dem Fluche des Atheismus und machte sie für seine Zeit salonfähig.

Ähnliche Anschauungen wie *Gassendi* entwickelten die englischen Philosophen *Thomas Hobbes* (1588—1679) und *John Locke* (1632—1704), welche zugleich als die Hauptvertreter der von *Bacon* begründeten Erfahrungsphilosophie zu nennen sind.

Ihre naturwissenschaftliche Vollendung erhielt dagegen die Corpusculartheorie in der zweiten Hälfte des siebzehnten Jahrhunderts durch einen Mann, der als ein mächtiger Bahnbrecher und geradezu als Typus eines empirischen Forschers der neueren Zeit bezeichnet werden kann. Das war der Sohn des kinderreichen Earl of Cork, *Robert Boyle* (1627—1691). Mit ihm beginnt ein neues Zeitalter der Chemie.

Der Bruch mit der Alchemie und den *aristotelischen* Begriffen wurde vollendet. Die chemische Forschung, in den letzten anderthalb hundert Jahren seit *Paracelsus* (1493 bis 1541) nur im Dienste der Medizin stehend, wurde eine selbständige Wissenschaft. *Boyle* gründet allen Fortschritt auf das Experiment; sein wissenschaftliches Programm lautet: „Versuche anzustellen, Beobachtungen zu sammeln und keine Theorien aufzustellen, ohne zuvor die darauf bezüglichen Erscheinungen geprüft zu haben." Er gibt im Gegensatz zu den *aristotelisch*-alchemistischen Anschauungen zum erstenmal eine klare Definition der Elemente und Verbin-

dungen, indem er die Elemente als nachweisbare, nicht weiter zerlegbare Bestandteile der Körper bezeichnete und die chemischen Verbindungen als Produkte der Vereinigung solcher Bestandteile.

Seine Corpusceln, alle aus derselben Urmaterie bestehend, haben die drei Grundeigenschaften der Größe, Gestalt und Bewegung, durch welche sie sich voneinander unterscheiden. Während *Boyle* nähere Annahmen über die Form dieser kleinsten Teilchen nicht machen zu dürfen glaubte, wurde die Corpusculartheorie in dieser Beziehung von *Nicolaus Lémery* (1645—1715) mißhandelt, an dessen Phantasien man durch die in jüngster Zeit von *W. Sedgwick* und von *W. Vaubel* entwickelten Anschauungen erinnert wird.

Von der Corpusculartheorie dürfen wir nicht scheiden, ohne des großen Mathematikers *Isaac Newton* (1643—1727) zu gedenken, der auf dem Boden des *Locke*'schen Empirismus stehend, die Wirkung des Lichtes durch fortgeschleuderte kleinste Teilchen zu erklären suchte (Emissionstheorie); eine Anschauung, welche allerdings später durch andere ersetzt wurde, auf die man aber wieder bei kürzlich entdeckten Strahlungserscheinungen zurückgegriffen hat.

Im Gegensatz zu dieser ganzen empirischen Richtung der sogenannten Erfahrungsphilosophie steht der Rationalismus, gegen die Mitte des 17. Jahrhunderts begründet von dem Franzosen *René Descartes* (1596—1650). Mit *Bacon* in seiner negativen Stellung gegen alle bisherige Philosophie, besonders die *aristotelische*, übereinstimmend, beginnt auch er mit der Skepsis, mit dem Zweifel an allem. Aber während *Bacon* den Weg zur Erkenntnis der Wahrheit in der äußeren Erfahrung sucht, macht *Descartes* sein: „cogito, ergo sum" zum Ausgangspunkt der Philosophie und bildet durch Abstraktion und Deduktion eine rationale Prinzipienlehre aus, welche von *Spinoza* (1632—1675) und *Leibniz* (1646—1716) fortgeführt und modifiziert wurde.



Ist auch die ganze cartesische Richtung vollständig idealistisch, so hat sie doch gerade durch Ausbildung der reinsten Form der abstrakten Deduktion, nämlich der Mathematik — *Descartes* schuf die analytische Geometrie — dem dogmatischen Materialismus eine Handhabe geboten, durch welche sich dieser zum Mechanismus entwickeln konnte. Diese Anschauungsweise kam 100 Jahre später in der französischen Aufklärungszeit zur größten Blüte, trat in den Schriften: „l'homme machine" von *de la Mettrie* (1709 bis 1751) und „système de la nature" vom *Baron von Holbach* (1723—1789) am offensten und krassesten hervor und fand in der Hypothese der Weltformel von *Laplace* (1749—1827) ihren exaktesten Ausdruck.

In Deutschland dagegen machte sich seit Ende des siebzehnten Jahrhunderts eine lebhafte Reaktion gegen den Materialismus bemerkbar, besonders durch *Gottfried Wilhelm Leibniz* (1646—1716), ein Universalgenie von erstaunlichster Leistungsfähigkeit. War den Materialisten alles Geistige nichts als eine verfeinerte Materie, so machte *Leibniz* umgekehrt die Materie zum vergröberten Geistigen. Es gibt nur Geister, Seelen, Monaden und Vorstellungen derselben; sie sind die Grundlagen des ganzen physischen und geistigen Universums. Diese metaphysischen Punkte sind qualitativ voneinander unterschiedene Einheiten von lebendiger Aktivität; ein jeder ein Mikrokosmos, ein Zentrum der Welt. Es gibt keine Materie im vulgären Sinne; das Substantielle ist nicht der Körper, sondern sind seine Urbestandteile. Da die Monaden nicht aufeinander einwirken können — sie haben keine Fenster, jede folgt nur dem Gesetz ihres eigenen Wesens —, so werden ihre Veränderungen durch die prästabilierte Harmonie bestimmt.

Der Copernicus der Philosophie *Immanuel Kant* (1724 bis 1804) hat von Anfang an gegen die atomistisch-mechanistische Form der Naturphilosophie Stellung genommen, in-



dem er eine mehr dynamische Anschauungsweise geltend machte. In seiner vorkritischen Periode unter dem Einflusse von *Leibniz* einer physischen Monadologie huldigend, wandte er sich später immer mehr Kontinuitätsvorstellungen zu.

Im Gegensatze zu *Kant* entwickelte der Jesuit *Boscovich* (1711—1787) seine Theorie der „einfachen", d. h. ausdehnungslosen Atome, welche später von *Gustav Theodor Fechner* (1801—1887) von neuem aufgegriffen wurde.[5] *Fechner*, von Haus aus Physiker, machte neben vielen anderen vier Gründe erster Ordnung gegen den Dynamismus zugunsten der Atomtheorie geltend, indem er Tatsachen aus dem Gebiete der Licht- und Wärmeerscheinungen anführte, welche sich nur unter Voraussetzung von Atomen erklären ließen.

In ähnlicher Weise tritt *Wilhelm Wundt* für eine dynamische Atomistik (als solche ist auch die *Fechner*'sche zu bezeichnen) ein, indem er die Materie als ein System von Kraftpunkten auffaßt.[6]

An *Leibniz* anknüpfend entwickelte zu Beginn des vorigen Jahrhunderts *Johann Friedrich Herbart* (1776—1841) seine Lehre von den „Realen", und dessen Nachfolger auf dem Göttinger Lehrstuhl der Philosophie *Hermann Lotze* (1817—1881), allerdings von Herbart ziemlich abweichend, seine Theorie der geistigen Kraftzentren. Neuerdings ist dann *Ernst Friedrich Wyneken* unter stärkerer Betonung der *Schopenhauer*'schen Willensidee mit seinen „Dynamonaden" hervorgetreten, welche von dem sogenannten Naturgesetz der Seele beherrscht werden.[7]

[5] *G. Th. Fechner*, Über die physikalische und philosophische Atomenlehre. Leipzig 1855.

[6] System der Philosophie. 2. Aufl. S. 413, 421, 452 ff.

[7] *Dr. phil. Ernst Fr. Wyneken:* Das Ding an sich und das Naturgesetz der Seele. (Heidelberg, Carl Winter's Universitätsbuchhandlung, 1901.)

NB. Wie sehr dieses Buch ernsterer Beachtung wert ist, geht wohl schon daraus hervor, daß der Verfasser daraufhin bei der Königsberger *Kant*feier 12. Februar 1904 zum Dr. theol. hon. causa promoviert wurde. Später (s. S. 40) kommen wir noch einmal auf *Wyneken* zurück.

Die einseitige Hervorkehrung des Idealismus in Deutschland rief bei dem Aufschwung der Naturwissenschaften gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts den Materialismus wieder auf den Plan. Hatte man sich früher mit *Hallers* bescheidenem Bekenntnis begnügt: „Ins Innere der Natur dringt kein erschaffener Geist", so glaubte man jetzt der Natur am hellen Tage, wenn nicht mit Hebeln und Schrauben, so doch mit kecken Behauptungen ihre letzten Geheimnisse abgewinnen zu können. *Ludwig Feuerbach* (1804 bis 1872), *Carl Vogt* (1817—1895), *Jacob Moleschott* (1822 bis 1893) und andere mehr waren begeisterte Vorkämpfer dieser Richtung, deren Grunddogma der Satz bildet: Es gibt nur Materie und ihre Bewegung.

Auch *Heinrich Czolbe* (1819—1873) ist hier zu nennen, obwohl er mit seinem sensualistischen Prinzip im Grunde dem Idealismus huldigte.

In dem Materialismusstreit, welcher eine Reihe von Jahren die Gemüter in Aufregung hielt, spielte der Ausspruch *Carl Vogts* eine große Rolle, „daß die Gedanken etwa in demselben Verhältnis zum Gehirn ständen, wie die Galle zu der Leber oder der Urin zu den Nieren".[8] Ihre klassische Darstellung fand diese materialistische Anschauung 1855 in *Ludwig Büchners* (1824—1899) „Kraft und Stoff", dem Evangelium der aufklärerischen Vulgärphilosophie.

Emil du Bois-Reymond (1818—1896) untersuchte die Leistungsfähigkeit des atomistischen Materialismus in seiner kritischen Studie: „Über die Grenzen des Naturerkennens"[9] und kam zu dem Ergebnis, daß auch für den denkbar höchst

---

[8] *Carl Vogt,* Physiologische Briefe für Gebildete aller Stände. (Gießen 1847) S. 206. — Derselbe Gedanke findet sich bereits bei dem französischen Physiologen *Cabanis* (1757—1808); und wie sich später herausstellte, hat sich schon *Friedrich der Große* in einem Briefe an *Voltaire* über das Sekretionsgleichnis abfällig geäußert.

[9] Vortrag auf der Naturforscherversammlung in Leipzig am 14. August 1872.

entwickelten Geist, welcher eine astronomische Kenntnis aller materieller Vorgänge hätte und deren Zustand für jeden beliebigen Zeitpunkt der Vergangenheit und Zukunft mittels der *Laplace*'schen Weltformel berechnen könnte, — daß es auch für diesen Geist zwei Stellen gäbe, wo er Halt machen müßte: die Möglichkeit, die Atome oder Materie und Kraft zu begreifen, und aus den bewegten Atomen auch nur das geringste Bewußtsein zu erklären. Dabei ist allerdings zu bemerken, daß dieses doppelte „ignorabimus" einen schwerwiegenden Teil seiner Gültigkeit verliert, sobald man die von *du Bois-Reymond* gemachten Voraussetzungen fallen läßt.

Wenden wir uns nun wieder zur Chemie zurück, die wir bei *Boyle* verlassen hatten (S. 9). Das von diesem heraufgeführte neue Zeitalter wird in der Folge charakterisiert durch die von dem ausgezeichneten Professor der Medizin und Chemie *Georg Ernst Stahl* (1660—1734) begründete Phlogistontheorie, welche sich zu einem Dogma auswuchs und die Anschauungsweise aller damaligen Forscher beherrschte. Diese Theorie, deren Grundidee sich schon bei dem Alchemisten *Johann Joachim Becher* (1635—1682) findet, suchte die Verbrennungserscheinungen durch die Annahme eines allen brennbaren Körpern gemeinsamen Feuerstoffes, des „Phlogistons", zu erklären. Die Verbrennung oder Oxydation sollte in dem Entweichen, die Reduktion der Metalle aus deren Kalken in der Aufnahme des Phlogistons bestehen. So verkehrt diese Auffassung auch war, so hatte sie doch den Vorzug, eine große Reihe scheinbar verschiedenartiger Erscheinungen in einen einfachen Zusammenhang zu bringen und auf diese Weise zu weiterem systematischen Forschen anzuregen.

Die Entdeckung des Sauerstoffs durch den genialen deutsch-schwedischen Apotheker *Carl Wilhelm Scheele* (1742

bis 1786) und den vielseitigen englischen Dissenterprediger *Joseph Priestley* (1733—1804) im Jahre 1774 setzte dann *Antoine Laurent Lavoisier* (1743—1794) in den Stand, der Chemie neue Bahnen zu weisen.

Das Verdienst dieses Mannes besteht weniger in großartigen eigenen experimentellen Leistungen, als darin, daß er das von den Phlogistikern — und ein solcher blieb z. B. *Scheele* wie auch *Priestley* unbeirrt bis ans Lebensende — gesammelte, reiche Beobachtungsmaterial unter neuen Gesichtspunkten zusammenfaßte und durch Einführung der Wage die quantitativen Verhältnisse bei den chemischen Umsetzungen zu erforschen lehrte. Alsbald entdeckte der schlesische Bergsekretär *Jeremias Benjamin Richter* (1762—1807) das Neutralitätsgesetz, d. h. die wichtige Tatsache, daß sich Säuren und Basen in einem bestimmten Gewichtsverhältnisse miteinander zu neutralen Salzen vereinigen. *Richter* wurde somit der Begründer der Stöchiometrie, nachdem sich schon vor ihm, außer mehreren andern, besonders der Direktor der Freiberger Hüttenwerke, *Carl Friedrich Wenzel* (1740—1793), mit ähnlichen Fragen befaßt hatte. *Richters* Ergebnisse wurden von seinem Landsmann *G. E. Fischer* 1802 sogar schon zu einer Äquivalentsgewichtstabelle zusammengestellt. In Frankreich kam *Joseph Louis Proust* (1735—1826) unabhängig von *Richter* zu ganz ähnlichen Resultaten, welche er gegen *Berthollets* (1748—1822) Anschauungen von veränderlichen, wechselnden Verbindungsverhältnissen hartnäckig und erfolgreich zu verteidigen wußte.

Hatte man sich bis dahin mit dem Auffinden der quantitativen Gesetzmäßigkeiten begnügt, so war es dem Engländer *John Dalton* (1766—1844) vorbehalten, durch Aufstellung seiner chemischen Atomtheorie diese Erscheinungen von einem einheitlichen Prinzipe aus zu erklären. Er selbst hatte sich mit dem Studium chemisch reagierender

Gase beschäftigt, kam aber, wie es scheint, auch unabhängig von den Ergebnissen *Richters* und *Prousts* lediglich auf deduktivem Wege zu seiner Theorie. Daher begnügte er sich auch mit einer ziemlich mangelhaften experimentellen Bestätigung des Gesetzes der konstanten und multiplen Proportionen, welches er zum erstenmal genau präzisierte. Am 21. Oktober 1803 trug *Dalton* vor einem erlesenen Kreise der Literary and Philosophical Society zu Manchester seine neuen Ideen vor, welche für die chemische Wissenschaft von größter Bedeutung werden sollten; erst im Jahre 1808 veröffentlichte er sein „New System of chemical philosophy". Das Wesentliche seiner Hypothese besteht in der Annahme, daß jedes chemische Element aus gleichartigen, unveränderlichen Atomen von konstantem Gewicht besteht und daß durch Vereinigung dieser Atome verschiedener Elemente nach einfachsten Verhältniszahlen die chemischen Verbindungen sich bilden. Die Verbindungsgewichte wurden somit zu Atomgewichten.

William Hyde Wollaston (1766—1828), ein Zeitgenosse *Daltons*, machte auch Spekulationen über die Anordnung der Atome im Raume, wobei er sogar schon das Bild des Tetraeders gebrauchte, welches wir später mit glücklichstem Erfolge angewendet bei *van't Hoff* wiederfinden (s. S. 23).

Daltons Theorie fand die günstigste Aufnahme bei den Naturforschern, besonders, da sie in der Folge durch verschiedene wichtige Entdeckungen weitere experimentelle Bestätigungen erhielt. *Louis Joseph Gay-Lussac* (1778—1850) fand 1805 im Verein mit *Alexander von Humboldt* (1769 bis 1859) das Volumgesetz der Gase, und die anfangs sich einstellenden Schwierigkeiten, dieses Verhalten der Gase mit der Atomtheorie in Einklang zu bringen, wurde 1811 von *Amadeo Graf Avogadro* (1776—1850) durch die Hypothese beseitigt, daß in gleichem Volumen bei gleichen Bedingungen von Druck und Temperatur dieselbe Anzahl kleinster

Gasteilchen enthalten sei, welche ihrerseits aus mehreren, meist zwei Atomen zusammengesetzt, als Moleküle bezeichnet wurden.

Diese geniale Idee des italienischen Physikers machte mit einem Schlage das gesamte Verhalten der Gase leicht verständlich und ist nach vielen Anfechtungen zu einem Fundament der theoretischen Physik und Chemie geworden.

Von entscheidendem Einflusse für die weitere Entwickelung der *Dalton*'schen Atomtheorie war eine im Jahre 1815 von dem englischen Arzt *William Prout* (1786—1850) anonym veröffentlichte Hypothese, nach welcher alle Elemente aus dem Wasserstoff als Urmaterie zusammengesetzt sein sollten. Diese ohne jede sichere experimentelle Begründung ausgesprochene Idee hat anfangs zwar der Atomtheorie einigen Abbruch getan, dann aber indirekt zu deren weiteren Ausbau wesentlich beigetragen, indem sie veranlaßte, daß der große schwedische Forscher *Jons Jacob Berzelius* (1779 bis 1848) sein ganzes experimentelles Geschick daransetzte, die genauen Verbindungsgewichte der Elemente zu bestimmen. Dabei bezog er die Zahlenwerte nicht auf das leichteste Element, den Wasserstoff, sondern auf Sauerstoff, dessen Atomgewicht er gleich 100 setzte; denn dieses Element ist, wie *Berzelius* sagt, „der Mittelpunkt, um den sich die ganze Chemie dreht". Die später angenommene Wasserstoffeinheit hat man aus denselben praktischen Gründen neuerdings wieder verlassen, indem man, zwischen der Wasserstoff- und Sauerstoffgrundlage gewissermaßen einen Kompromiß schließend, die Atomgewichte auf Sauerstoff = 16 bezieht.

In einigen weiteren Entdeckungen fand die Atomtheorie kräftige Stützen. Im Jahre 1819 fanden *Pierre Louis Dulong* (1745—1838) und *Alexis Thérèse Petit* (1791—1820), daß die spezifische Wärme bei einer großen Anzahl von Elementen umgekehrt proportional dem Atomgewichte sei, d. h. daß die Atome der verschiedenen Elemente die gleiche Wärmekapazität besitzen.

Fast gleichzeitig mit diesem **Gesetze der konstanten Atomwärmen** wurde das des **Isomorphismus** durch *Eilhard Mitscherlich* (1794—1863) entdeckt, nach welchem sich chemisch ähnliche Elemente in vielen Verbindungen im Verhältnis ihrer Atomgewichte gegenseitig vertreten können, ohne dabei die Kristallform der betreffenden Verbindung zu verändern. Schien sich hierdurch ein Blick in die Lagerungsverhältnisse der Atome zu eröffnen, so bedeutete für die weitere Klärung der atomistischen Verhältnisse einen großen Schritt vorwärts die im Jahre 1834 von *Michael Faraday* (1791—1867) aufgefundene Tatsache, daß aus den verschiedensten Verbindungen durch den gleichen elektrischen Strom immer äquivalente Mengen (Wasserstoff, Metall, Säureradikale usw.) in Freiheit gesetzt werden. Dieses **Gesetz der fixen elektrolytischen Aktionen** bot im Verein mit dem vorher genannten eine willkommene Handhabe, die Richtigkeit der Atomgewichte zu prüfen und eine genaue Definition der Begriffe Äquivalent, Atom, Molekül zu ermöglichen.

Die oben erwähnte *Prout*'sche Hypothese wirkte auf manche Forscher geradezu faszinierend und lebte besonders von neuem wieder auf, als sich in den vierziger Jahren des vorigen Jahrhunderts einige Ungenauigkeiten in den Atomgewichtszahlen von *Berzelius* herausstellten und dadurch das ihm bis dahin geschenkte unbedingte Vertrauen schwankend wurde. Bei eingehender Nachprüfung erwies sich jedoch der weitaus größte Teil der *Berzelius*'schen Zahlen als völlig zuverlässig. Die genauen Atomgewichtsbestimmungen von *J. B. Dumas* (1800—1884), *J. C. Marignac* (1817—1894) u. a., sowie besonders die glänzenden Untersuchungen von *J. S. Stas* (1813—1891) haben dann endgültig die Unzulänglichkeit der *Prout*'schen Annahme erwiesen.

War somit durch Dalton der Atombegriff in die Chemie eingebürgert, so erstand als weiteres Problem, die Vereinigung dieser Atome zu chemischen Verbindungen durch theo-

retische Annahmen plausibel zu machen. Der erste in dieser Beziehung konsequent durchgeführte Versuch stammt von *Berzelius*. Er nahm als Fundamentaleigenschaft der Atome eine elektrische Polarität an, und zwar in der Weise, daß entweder der positive oder negative Pol überwiegt, wodurch die Elemente unipolar erscheinen. Das elektro-negativste Element, der Sauerstoff, bildet durch Vereinigung mit den Metallen die Basen, mit den Metalloïden die Säuren; diese wiederum durch wechselseitige Verbindung die Salze. Um seine elektrochemischen Ansichten über die Zusammensetzung und die Reaktionen der chemischen Verbindungen in kurzer, präziser Form zum Ausdruck bringen zu können, führte *Berzelius* die noch heute übliche chemische Zeichensprache ein. Während *Dalton* die Atome durch Kreise mit verschiedenen Punkten und Strichen bezeichnete, wählte *Berzelius* die Anfangsbuchstaben der lateinischen oder griechischen Namen der Elemente (Wasserstoff = Hydrogenium = H; Sauerstoff = Oxygenium = O; Wasser — H_2O usw.).

Diese dualistische, oder besser gesagt, polare Theorie, welche sich zunächst als systematisches Prinzip in der anorganischen Chemie vorzüglich bewährte, geriet aber nachher bedenklich ins Schwanken, als *Humphry Davy* (1778 bis 1829) die elementare Natur des Chlors nachwies und damit die Existenz sauerstofffreier Säuren unzweifelhaft machte.

In der organischen Chemie, auf welche *Berzelius* sein polares Prinzip ebenfalls anzuwenden versucht hatte, zeigte sich bald die gänzliche Unhaltbarkeit dieser Theorie. *Justus Liebig* (1803—1873) wies nach, daß das knallsaure Silber dieselbe empirische Zusammensetzung und dabei total andere Eigenschaften hatte, als das von *Friedrich Wöhler* (1800—1882) kurz vorher untersuchte Silbercyanat. Ähnliche Beobachtungen wurden dann mehrfach gemacht, von denen vor allem die im Jahre 1828 von *Wöhler* ausgeführte Um-

wandlung des isocyansauren Ammons in Harnstoff als erste künstliche Darstellung eines organischen Stoffes zu erwähnen ist. Als *Berzelius* schließlich selber konstatiert hatte, daß die Traubensäure dieselbe Zusammensetzung habe wie die Weinsäure, da suchte er diese Erscheinungen durch verschiedene Lagerung der Atome zu erklären und definierte die Begriffe der Poly- und Metamerie.

Die Anschauungen über die Konstitution der organischen Verbindungen machten dann in der Folge verschiedene Stadien durch, deren wichtigste durch die Namen der Radikal-, der Typen- und der Substitutionstheorie bezeichnet werden.

Beim näheren Studium der Kohlenstoffverbindungen erkannte man, daß gewisse Atomkomplexe bei einer großen Reihe chemischer Einwirkungen unverändert blieben, sich als selbständige, schwer zerlegbare Radikale verhielten. Besonders die Arbeiten von *Gay-Lusac* über Cyan-, die von *Liebig* und *Wöhler* über Benzoyl-, die von *Robert Bunsen* (1811—1899) über Kokodylverbindungen wurden die Grundlage der Radikaltheorie.

Als dann ferner *J. B. Dumas* fand, daß man in den organischen Verbindungen den Wasserstoff durch Chlor und andere Elemente ersetzen kann, ohne dadurch den Charakter der betreffenden Verbindung im wesentlichen zu ändern, da machte er im Anschluß an die von *A. Laurent* (1807—1883) bereits früher aufgestellte Kerntheorie eine Typen- und Substitutionstheorie geltend. Die dualistische Auffassung von *Berzelius* mußte immer mehr zurücktreten und schließlich ganz das Feld räumen.

C. F. Gerhardt (1816—1856) kombinierte die Radikal- und Substitutionstheorie zu einer Theorie der Reste und wurde dann später der eifrigste Vertreter der eigentlichen Typentheorie, indem er sämtliche chemischen Verbindungen unter Zurückgreifen auf die *Dumas*'schen Anschauungen unter die vier Typen: Wasserstoff (H-H), Chlorwasser-

stoff (Cl-H), Wasser (H-O-H) und Ammoniak $\left(N\begin{matrix}-H\\-H\\-H\end{matrix}\right)$ zu klassifizieren suchte, denen *August Kekulé* (1829—1896) dann noch das Methan (CH_4) und die sogenannten gemischten Typen hinzufügte.

Dieser formale Schematismus wurde von *Hermann Kolbe* (1818—1884) und *Edward Frankland* (1825—1899) aufs heftigste bekämpft. Diese Forscher suchten ihrerseits die dualistische Anschauungsweise und die Radikaltheorie umzugestalten und neu zu beleben, mehr den tatsächlichen als schematischen Zusammenhang zwischen anorganischen und organischen Verbindungen zu ergründen. Dabei haben sie durch ihre trefflichen experimentellen Forschungen ganz wesentlich dazu beigetragen, daß sich die von ihnen lebhaft befehdete Typentheorie zu der noch heute gültigen Strukturlehre entwickeln konnte. *Frankland* selbst kam bei seinem Studium der metallorganischen Verbindungen zu der Anschauung, daß den einzelnen Elementaratomen eine bestimmte Sättigungskapazität zukomme, d. h. die Fähigkeit, sich mit einer für jedes Element genau bestimmten Anzahl Wasserstoff- oder anderer Atome zu verbinden.

Dieser Valenzbegriff wurde dann Ende der fünfziger Jahre ganz besonders von *August Kekulé* aufgegriffen und für die organischen Verbindungen weiter entwickelt. *Kekulé* verkündete die eigentlich schon aus *Kolbes* Arbeiten hervorgehende Vierwertigkeit des Kohlenstoffes und stellte unter Annahme der Kohlenstoffketten, d. h. der Aneinanderreihung der Kohlenstoffatome innerhalb des Moleküls, seine Strukturformeln der organischen Verbindungen auf. Unabhängig von *Kekulé* entwickelte *Couper* fast zur selben Zeit ganz ähnliche Ansichten. Während *Kolbe* z. B. die Formel der Propionsäure $\left(\begin{matrix}CH_3\\H_2\end{matrix}\Big\} C\right)'[CO]$ OH schrieb und dadurch

seiner Ansicht Ausdruck geben wollte, daß diese Verbindung ein Derivat des Kohlensäureradikals CO sei, in welchem eben das Kohlenstoffatom dieses Radikals dominiere und mit den beiden einwertigen Gruppen Hydroxyl (OH) und Äthyl (C_2H_5) verbunden sei, ohne daß er bestimmte Vorstellungen über die Art und Weise der Aneinanderlagerung der einzelnen Atome zuließ, wird die atomistische Zusammensetzung dieser Säure gemäß der *Kekulé*'schen Ketten- und Strukturtheorie durch die Formel

$$\begin{array}{c} \text{H H} \quad {}^{\text{O}} \\ \text{H-C-C-C} \langle \\ \text{H H} \quad {}_{\text{OH}} \end{array}$$

oder

CH_3—CH_2—CO.OH ausgedrückt. Hier liegt der Gedanke zugrunde, daß die drei Kohlenstoffatome, im Range gleich, mit je einer Affinität untereinander reihenweise verbunden seien und mit den übrigen Affinitäten die Wasserstoffatome und den Sauerstoff beziehungsweise die Hydroxylgruppe tragen.

Um die weitere Entwicklung der Strukturtheorie haben sich dann besonders *Emil Erlenmeyer* und der russische Forscher *Alexander Butlerow* (1828—1886) sehr verdient gemacht.

Die Definition des Valenzbegriffes, welcher die Grundlage dieser ganzen Anschauungsweise bildet, ist bis in die neueste Zeit schwankend geblieben. Die von *Kekulé* anfangs geltend gemachte Ansicht, daß die Valenz eine allen Elementaratomen zukommende, ursprüngliche und unveränderliche Eigenschaft sei, zwangen ihn zu bedenklichen Hypothesen; so zu der Annahme von „molekularen" Verbindungen (z. B. $PCl_5 = PCl_3 + Cl_2$), bis unzweideutige experimentelle Gründe (die Entdeckung des auch in der Hitze beständigen Phosphorpentafluorids PF_5) einen tatsächlichen Wechsel in der Valenz der Elemente erwiesen. Später hat man zwischen Wertigkeit oder Valenz, im Sinne von Substitutionswert, welcher wechselt, und Sättigungs-

kapazität oder Maximalvalenz, welche für jedes Element konstant ist, unterschieden, um dadurch formell die den Atomen aus theoretischen Gründen zuerteilte Konstanz der Eigenschaften zu retten.

Neuerdings ist die Valenzfrage bei zwei wichtigen Elementen wieder besonders akut geworden: durch die Arbeiten *M. Gombergs* über Triphenylmethyl (Verbindungen des dreiwertigen Kohlenstoffs) einerseits und die Untersuchungen der Derivate des vierwertigen Sauerstoffs von *J. N. Collie* und *Th. Tickle,* sowie von *A. von Baeyer* und *V. Villiger* andererseits. — In das Wesen der Valenz näher einzudringen versuchten *R. Abegg* und *G. Bodländer* (1855 bis 1904), indem sie die allerdings nur schwer meßbare Verwandtschaft der Elemente zur Elektrizität, die Elektroaffinität als Klassifikationsprinzip verwerteten.

Die organische Chemie der letzten Jahrzehnte steht ganz unter dem Zeichen der Strukturchemie, und *August Kekulé* war es vor allen, der durch einen glücklichen Griff in der Wahl seiner Formelbilder den größten Erfolg davontrug. Seine Theorie von der geschlossenen Kohlenstoffkette des sogenannten Benzolringes ermöglichte eine systematische Erforschung der „aromatischen" Verbindungen und hat zum nicht geringen Teile dazu beigetragen, daß die Industrie des Steinkohlenteers sich so mächtig entwickeln konnte.

Von den übrigen Versuchen, das chemische Verhalten des Benzols durch passende Formelbilder anschaulich zu machen, seien nur die Prismenformel von *Albert Ladenburg,* die Diagonalformel von *Adolf Claus* (1840—1900) und die zentrische Formel von *Adolf von Bayer* erwähnt:

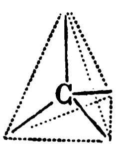
```
      H                          H                 ·H
 HC/ C \\CH    HC▽CH       H  /C\  H       HC/C\CH
  ||     |      | CH |       C  |  C         |↘↓↙|
 HC\  C //CH   HC+CH       |>|<|           |↗ ↖|
      H          \C/       HC\ C /CH       HC\C/CH
                  H          H                 H
```

Kekulé. *Ladenburg.* *Claus.* *Baeyer.*

Die letzte Formel, welche bei völliger Gleichartigkeit der sechs CH-Gruppen eine von der gewöhnlichen ganz abweichende Bindungsform und dadurch den eigenartigen „aromatischen" Charakter der Benzolderivate zum Ausdruck bringen soll, hat in neuerer Zeit wohl die meisten Anhänger gefunden.

Das Studium der Isomerieerscheinungen führte schließlich zu einem Punkte, wo die übliche Strukturchemie zur Erklärung der gefundenen Tatsachen nicht mehr ausreichte.

Im Jahre 1869 konstatierte *Johannes Wislicenus* (1835 bis 1902) die Existenz von drei verschiedenen Milchsäuren, während die gewöhnliche Strukturchemie nur zwei Isomeren zuließ. *Wislicenus* nannte diese Art der Metamerie geometrische Isomerie und erklärte, daß dieselbe nur durch Annahme verschiedener Lagerung der Atome im Raume zu verstehen sei. — Angeregt durch diese Arbeiten trat 1874 *J. H. van't Hoff* mit einer völlig durchdachten Theorie hervor, deren Grundgedanke darin besteht, daß die Valenzen des Kohlenstoffs nach den vier Ecken eines Tedraeders gerichtet seien, in dessen Zentrum das Atom sich befände:



Fast gleichzeitig kam *J. A. Le Bel* auf Grund der Untersuchungen von *Louis Pasteur* (1822—1895) über die Weinsäure zu ähnlichen Betrachtungen. Nach dieser Theorie wurde die Tatsache, daß manche organische Verbindungen die Schwingungsebene des polarisierten Lichtes drehend ablenken, die sogenannte optische Aktivität, als die Wirkung eines asymmetrischen Kohlenstoffatoms im Molekül erklärt, d. h. eines C-Atoms, dessen Valenzen an vier verschiedene Gruppen gebunden sind. Diese Auffassungsweise

ließ sich nun auf eine große Reihe von Stoffen anwenden und fand die glänzendsten Bestätigungen. Auch die sogenannten ungesättigten Verbindungen zog *van't Hoff* mit in den Kreis seiner Betrachtungen, indem er zunächst das Verhalten der Fumar- und Maleïnsäure auf Grund seiner Theorie zu erklären suchte. Der Fumarsäure teilte er die „Trans"-Form, der Maleïnsäure, welche durch Wasserabspaltung ein inneres Anhydrid bilden kann, die „Cis"-Form zu:

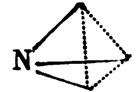
Fumarssäure	Maleïnsäure.
H-C-CO·OH ‖ HO·OC-C-H	HC-CO·OH ‖ HC-CO·OH

Seit der Zeit hat sich die Stereochemie, wie *Viktor Meyer* (1848—1897) diese Forschungsrichtung 1888 nannte, in der vielseitigsten Weise entwickelt. Besonders *Johannes Wislicenus* beschäftigte sich mit der Konstitutionsermittlung ungesättigter Verbindungen und suchte durch geistvolle Spekulationen das Gebiet neu zu beleben.

Ad. von Baeyer erweiterte *van't Hoffs* Grundprinzipien durch das Studium der hydrierten Benzolderivate und gab eine Theorie des Ringschlusses und der Valenzspannungen ungesättigter Verbindungen. Ferner haben die grundlegenden Arbeiten von *Emil Fischer* über die Zuckerarten wesentlich zum Ausbau der Stereochemie des Kohlenstoffs beigetragen. *Karl Bischoff* suchte durch seine dynamische Hypothese der begünstigten Konfigurationen, *Viktor Meyer* durch das Studium der Esterbildung aromatischer Verbindungen weitere Beiträge zur Aufklärung des molekularen Baues zu liefern.

Der Kohlenstoff blieb lange Zeit allein der Gegenstand stereochemischer Betrachtungsweise, bis die von *H. Goldschmidt* 1883 aufgefundenen isomeren Benzildoxime und die von *Ernst Beckmann* isolierten zwei isomeren Benzaldoxime das Interesse auch den Stickstoffverbindungen zuwandte.

Nachdem *Viktor Meyer* und *Karl Auwers* eine wenig erfolgreiche Hypothese zur Erklärung dieser Stickstoffisomerien aufgestellt hatten, entwickelten 1890 *Arthur Hantzsch* und *Alfred Werner* durch Übertragung des *van't Hoff*'schen Prinzips der Doppelbindung auf die Stickstoffverbindungen ihre Stereochemie des Stickstoffs, welche eine überraschend einfache Deutung der beobachteten Isomerieerscheinungen gestattete. Die Grundvorstellung dabei ist die, daß die drei Valenzen des Stickstoffes nach den drei Ecken eines Tedraeders gerichtet sind, dessen vierte Ecke das Stickstoffatom einnimmt:



Von *A. Hantzsch* wurde das Gebiet der Stickstoffverbindungen in ausgedehntestem Maße durchforscht und besonders die Konstitution der Diazoverbindungen im Sinne der Theorie aufgeklärt. *E. Wedekind* und *W. J. Pope* beschäftigten sich auch mit dem Studium der isomeren Derivate des fünfwertigen Stickstoffs, nachdem es *Le Bel* schon früher gelungen war, eine optisch-aktive Stickstoffverbindung zu isolieren. —

Das eigentliche Ziel der Stereochemie bestände darin, diese Betrachtungsweise der räumlichen Lagerung der Atome auf sämtliche Elemente zu übertragen. Der Anfang dazu ist von *Werner* gemacht, welcher die komplexen Ammoniaksalze des Platins, des Kobalts und des Chroms einer eingehenden Forschung unterzog und zur Deutung der beobachteten Isomerien eine Therorie über die Konfiguration der komplexen Verbindungen aufstellte, durch Modifizierung und Erweiterung des Valenzbegriffes zur sogenannten Oktaedertheorie. Von *Pope* und seinen Schülern wurden dann auch optisch-aktive Schwefel-, Selen- und Zinnverbindungen gewonnen.

Die sich immer mehr differzierende Forschung der organischen Chemie hat schließlich Erscheinungen zutage gefördert, welche sich durch die gewöhnlichen Voraussetzungen der Struktur- und Stereochemie nicht mehr deuten lassen. Hierher gehören die 1890 von *C. Liebermann* aufgefundenen und später von *A. Michael* bestätigten drei isomeren Zimmtsäuren, ferner die Beobachtungen von *Z. Skraup* in der Reihe der China-Alkaloïde und die von *E. Fischer* und *R. Behrend* konstatierte Existenz von sechs isomeren Monomethylharnsäuren, von denen die Theorie nur vier möglich erscheinen läßt. Neuerdings sind auch von *Hans Stobbe* bei den Substitutionsprodukten von Butadiendikarbonsäureanhydriden durch Einwirkung des Sonnenlichtes Isomere gefunden, deren Zahl die theoretisch möglichen überschreitet.

Daß sich die gewöhnlichen Anschauungen der Struktur und Valenz noch in mancher Weise modifizieren lassen, hat *Johannes Thiele* gezeigt, indem er die Begriffe der Partialvalenzen einführte; Versuche, welche *E. Knoevenagel* zu ziemlich gewagten Spekulationen über Atomschwingungen veranlaßten. Auch sind hier die neuerdings von *P. Pfeiffer* entwickelten Anschauungen zu erwähnen, nach welchen in den sogenannten ungesättigten Systemen nicht etwa doppelte oder dreifache Bindungen anzunehmen, die freien Valenzen vielmehr als Lücken im molekularen Bau aufzufassen sind. Die übliche Stereochemie mit ihren Grundlagen der Valenz- und Strukturtheorie, ist jedenfalls für denjenigen, welcher vor kühnen Spekulationen nicht zurückschreckt, noch mancher Modifikation fähig und läßt sich den verschiedensten jeweiligen Bedürfnissen anpassen. Will man in dieser Beziehung wirklich vorwärts kommen, so müßte man vor allem versuchen, durch entsprechende experimentelle Behandlung der Probleme in die atomistischen Gleichgewichtsverhältnisse innerhalb des Moleküls einen Einblick zu gewinnen.

Wie wir gesehen haben, waren es Arbeiten auf dem Gebiete der organischen Chemie, welche den Valenzbegriff und die Strukturtheorie zur Entwicklung brachten. Die Anwendung dieser neuen Theorie auf die anorganischen Verbindungen vollzog sich nur sehr langsam und kam zunächst der Systematik zugute. Bei dem Versuche, die Elemente auf Grund gleichartiger Sättigungskapazitäten und analogen chemischen Verhaltens zusammen zu stellen, entdeckte man gewisse Regelmäßigkeiten in den Atomgewichtsdifferenzen. So entstanden die Triaden *J. W. Doebereiners* (1780 bis 1849) (Ca,Sr,Ba; Cl,Br,J). Weitere Versuche von *Leopold Gmelin* (1788—1853), *Max Pettenkofer* (1818—1901), *Chaucourtois*, *Newlands* und anderen Forschern, den Zusammenhang zwischen Atomgewichten und Eigenschaften der Elemente aufzudecken, blieben unvollkommen, bis 1869 *Lothar Meyer* (1830—1895) und *D. J. Mendelejeff* unabhängig voneinander ein System der Elemente entwarfen, in welchen die Grunstoffe nach der Größe der Atomgewichte geordnet und in Perioden gegliedert sind. Danach erwiesen sich die Eigenschaften der Elemente als periodische Funktionen ihrer Atomgewichte (s. d. Tab. a. Schl. d. Heftes).

Diese Idee, welche die gesamten Elemente von einem einheitlichen Gesichtspunkte zu betrachten gestattet, hat sich in der Folge als außerordentlich fruchtbar und erfolgreich erwiesen. Nicht nur, daß die systematische Anordnung dazu diente, die Atomgewichte zu korrigieren, sondern *Mendelejeff* wurde durch die Lücken seines Systemes veranlaßt, die Existenz mehrerer, bis dahin unbekannter Elemente vorauszusagen. Mit staunenswertem Seherblick wußte er nicht nur die Atomgewichte anzugeben, sondern auch die chemischen und physikalischen Eigenschaften der unbekannten Grundstoffe und ihrer Verbindungen genau zu beschreiben. Es gehört wohl zu den größten Triumphen der theoretischen Chemie und der Naturwissenschaften überhaupt, daß diese

Prophezeiungen mehrere Jahre darauf in der glänzendsten Weise bestätigt wurden. Die neu entdeckten Elemente Gallium (*Lecoq de Boisbaudran* 1875), Scandium (*Nilson* und *Cleve* 1879) und Germanium (*Clemens Winkler* 1887) erwiesen sich als völlig identisch mit *Mendelejeffs* Ekaaluminium, Ekabor und Ekasilicium. Mit Recht hat man diese Entdeckungen mit der Auffindung des Neptuns im Jahre 1846 durch *Galle* nach den theoretischen Anweisungen *Leverriers* verglichen.

Hat so das periodische System glänzende Bestätigungen gefunden, so fehlt es andererseits nicht an einigen Schwierigkeiten, welche sich einer folgerichtigen Anordnung der Elemente darbieten. Das Atomgewicht des durch *Lord Rayleigh* und *William Ramsay* 1894 entdeckten Argons erwies sich bei genauer Bestimmung um einige Zehntel größer als das des Kaliums, nämlich 39,9 (Kalium = 39,15), obwohl es seinem Verhalten nach in der nullten Gruppe vor dem Kalium stehen sollte. Analoge Schwierigkeiten hatten sich schon bei der Gruppierung von Tellur (127,6) und Jod (126,97), von Kobalt (59,0) und Nickel (58,7), von Neodym (143,6) und Praseodym (140,5) ergeben. Diese Unregelmäßigkeiten sucht *J. Rydberg* aufzuklären, indem er statt der Atomgewichte sogenannte Ordnungszahlen als unabhängige Veränderliche annimmt und aus diesen nach einer einfachen Formel[10] das zugehörige Atomgewicht berechnet. Auf diese Weise verschwinden scheinbar die angedeuteten Schwierigkeiten.

Durch die Entdeckung der Elemente der Argongruppe angeregt, hat neuerdings der Schöpfer des periodischen Systems, *Mendelejeff*[11], einen Versuch gemacht, den hypotheti-

---

[10] $P = (2\,M + 1) + D$. (M = Ordnungszahl; D = periodische Funktion).

[11] s. Prometheus 1904, Nr. 735—738 und Naturwissenschaftliche Rundschau 1904, S. 273 ff.

schen Weltäther als leichtestes chemisches Element mit in das System einzureihen, indem er, analog wie früher durch Interpolation, hier durch Extrapolation über das Atomgewicht des Wasserstoffes hinaus das dem als Newtonium bezeichneten Ätherelement zukommende Atomgewicht auf etwa 1 Millionstel des Wasserstoffs berechnet, und es nebst dem in der Sonnenatmosphäre von *Ch. Young* und *W. Harkness* 1869 spektroskopisch beobachteten Coronium in die nullte Reihe und nullte Gruppe des Systems einordnet.

Die Betrachtung des periodischen Systems der Elemente ließ die alte Frage nach einem gemeinsamen Urstoffe wieder von neuem aufleben. *Viktor Meyer* besonders suchte in seinen pyrochemischen Studien diesem Problem experimentell näher zu treten. Er hatte die Dissoziation des Joddampfes bei ca. 1500°, d. h. die Verringerung der Dampfdichte auf die Hälfte ihres Wertes bei tieferen Temperaturen, beobachtet und hoffte, durch Anwendung äußerst hoher Hitzegrade die Elemente in ihre letzten Bausteine „zertrümmern" zu können.

Zu ähnlichen Erwägungen wurde man durch das Studium der Spektralanalyse geführt; die von den angeblich einheitlichen Elementen ausgestrahlten verschiedenen Lichtarten schienen notwendigerweise auf die zusammengesetzte Natur dieser Stoffe hinzudeuten.

In unseren Tagen ist dieses Problem wieder akut geworden durch die epochemachenden Arbeiten des französischen Ehepaares *Curie.* Die Entdeckung des Radiums im Jahre 1898 mit seinen verblüffenden Eigenschaften der konstanten Strahlung drohte eine vollständige Umwälzung der bisherigen Anschauungen über die Grundprinzipien der Naturwissenschaften hervorzurufen. *Henri Becquerel* hatte schon 1896 die Eigenschaft der Uransalze, chemisch und elektrisch wirksame Strahlen auszusenden, entdeckt und

G. C. Schmidt hatte dieselbe Beobachtung bei den Thoriumverbindungen gemacht.

An die *Curie*'sche Entdeckung des Radiums schloß sich dann die Auffindung mehrerer anderer radioaktiver Stoffe von anscheinend elementarem Charakter, des Aktiniums durch *Debierne* (1899), des Radiobleis durch *K. Hofmann* und *E. Strauß* (1900) usw. *W. Ramsay* und *F. Soddy* gelang es schließlich nachzuweisen, daß das Radium allmählich in Helium übergeht. Beim genauen Studium dieser eigenartigen Stoffe, besonders der Thoriumverbindungen, kamen *E. Rutherford* und *F. Soddy* zu folgender Anschauungsweise: Ein bestimmter Teil der vorhandenen Anzahl Atome zerfällt andauernd in Fragmente, welche in der Form strahlender Teilchen in den Raum geschleudert werden. Dabei durchläuft das Thorium mindestens fünf getrennte aufeinanderfolgende Zersetzungen, die jedesmal plötzlich und explosionsartig für jedes einzelne Atom erfolgen. Die kurzlebigen Übergangsformen nennen *Rutherford* und *Soddy* „Metabole"; es sind Atome von begrenzter Lebensdauer, welche im Augenblicke ihres Zerfalls die Radioaktivität erzeugen.

Diese Desaggregationstheorie nimmt eine Entwicklung der Elemente aus einem oder mehreren komplexen Grundstoffen durch Zerfall derselben unter Freiwerden eines Teils der in der Struktur des Atoms angehäuften ungeheuren Energiemengen an und gestattet sogar die mittlere Lebensdauer der neuen Elemente zu berechnen. So hat die Aktiniumemanation eine Lebensdauer von 5,7 Sekunden, die Radiumemanation von 5 Tagen 8 Stunden, das Radium selbst ungefähr von 1500 Jahren, während sich Thor und Uran einer solchen von ca. 1 Billion Jahren zu erfreuen haben.

Der dadurch in die anorganische Chemie hineingetragene Entwicklungsbegriff wurde schon 1887 von *Wil-*

liam Crookes auf Grund seiner Untersuchungen über die Spektren der seltenen Erden ausgesprochen. In seiner Theorie von der Genesis der Elemente baute er mit kühner Phantasie, allerdings in umgekehrter Richtung verfahrend, alle Elemente aus einem gemeinsamen Grundstoff, dem Protyl, auf.

Wollte man die Hypothese von *Rutherford* und *Soddy* gelten lassen, so könnte man analog den Erscheinungen in der belebten Natur annehmen, daß manche Elemente, auf die wir durch Lücken im periodischen System hingewiesen werden, gar nicht mehr aufgefunden werden können, da sie schon längst ausgestorben sind; besonders solche mit hohem Atomgewicht, in der Nähe des Thors und Urans.

Die Entdeckung der radioaktiven Stoffe bildet eigentlich nur ein, allerdings originelles, Glied in der Reihe der von den Physikern schon seit langen Jahren gemachten Beobachtungen über Strahlungserscheinungen.

Nachdem *Julius Plücker* (1801—1868) und *Wilhelm Hittorf* vor einem Menschenalter bereits die eigenartigen elektrischen Entladungsvorgänge in stark verdünnten Gasen (in sogenannten *Geißler*'schen Röhren) beobachtet hatten, wurden diese Kathodenstrahlen der Gegenstand eifrigen Studiums. *Crookes,* welcher unabhängig von den genannten Forschern ähnliche Beobachtungen gemacht hatte, stellte die Hypothese auf, daß die Materie im hohen Vakuum in einem vierten, dem ultragasförmigen Zustande existierte, und nannte dies den Zustand der strahlenden Materie. Diese Erscheinungen wurden von verschiedenen Physikern weiter untersucht und führten *Wilhelm Röntgen* 1895 zu seiner folgenreichen Entdeckung der X-Strahlen.

Abgesehen von mehreren deutschen Physikern machte sich der Engländer *J. J. Thomson* besonders um die Er-



forschung dieses Gebietes verdient, und von ihm rührt eine Theorie her, welche eigentlich eine Modifizierung der *Newton*'schen Corpuscular- oder Emissionshypothese ist, die Elektronentheorie. Danach bestehen die Kathodenstrahlen aus einem Schwarm kleinster, von der Kathode fortgeschleuderter, mit negativer Elektrizität geladener Masseteilchen, den Corpusceln oder Elektronen (dieser Name stammt von *Stoney*), welche etwa 1000mal kleiner sind als die Wasserstoffatome und sich mit einer der des Lichtes (300000 km in der Sekunde) nahekommenden Geschwindigkeit bewegen. Und da die verschiedensten Gasatome Teilchen von gleicher Größe liefern, so lag der Schluß nahe, daß es sich hier um die letzten Bruchteile der Elemente, die Uratome, handele.

Als *P. Zeeman* die von *Faraday* vergeblich gesuchte Zerlegung der Spektrallinien durch magnetische Kräfte entdeckt hatte, wurde durch *H. A. Lorentz* die Elektronentheorie auch zur Erklärung dieser Erscheinungen herangezogen. *C. Runge* hat dann versucht, die Atome aus den Elektronen aufzubauen, gleichsam als kleine Planetensysteme, deren Mitte ein großer positiv geladener Kern, die Sonne des Systems, einnimmt; dieser wird von einer Anzahl negativ geladener Elektronenplaneten in elliptischen Bahnen umkreist, wodurch in dem alles erfüllenden Äther die elektromagnetischen Lichtwellen erzeugt werden.

Dieses Bild nähert sich sehr einer von *Hermann Helmholtz* (1821 bis 1894) und *William Thomson* (jetzt *Lord Kelvin*) schon vor fast 40 Jahren entwickelten Anschauungsweise, welche vor allem deswegen Beachtung verdient, weil sie einen Versuch darstellt, die Atomistik mit der Kontinuitätshypothese zu verknüpfen. Danach sollen die Atome aus unvergänglichen Wirbelringen in dem den ganzen Raum als reibungslose Flüssigkeit erfüllenden Äther bestehen.

Es ist auch bemerkenswert, daß durch die Elektronentheorie die schon von *Helmholtz* geltend gemachte Auffassung einer atomistischen Struktur der Elektrizität in der prägnantesten Form zum Ausdrucke kommt. Bei den elektrischen Leitungsvorgängen, sowohl in wässerigen Lösungen wie in Gasen, zeigt es sich, daß jede Ladung aus einer begrenzten Anzahl individueller Ladungen zusammengesetzt ist, deren gemeinsame Einheit eben das Elektron bildet. Dieses ist somit als elektrisches Atom zu bezeichnen, und die materiellen Träger der Elektrizität in Lösungen oder Gasen, die Jonen, sind chemische Atome oder Atomgruppen, verbunden mit einem oder mehreren elektrischen Atomen, Elektronen.

Das Studium der Absorptionserscheinungen sehr langsamer Kathodenstrahlen veranlaßte in neuester Zeit *P. Lenard*[12] Spekulationen über die Konstitution der Materie anzustellen. *Lenard* fand, daß für die Absorption der Kathodenstrahlen nicht der Aggregatzustand oder die chemische Beschaffenheit der Stoffe, sondern lediglich ihre Dichte maßgebend sei, und schloß daraus, daß alle Materie sich aus einerlei Grundsubstanz aufbaue. Jedes Atom soll aus einer seinem Gewicht proportionalen Zahl von „Dynamiden" zusammengesetzt sein, und zwei verschiedene, gleich schwere Körper unterscheiden sich nur in der verschiedenen Gruppierung der gleichen Anzahl Dynamiden. Das Atomvolumen, dessen Durchmesser *Lenard* auf 10^{-6} bis 10^{-7} (= 0,000001 bis 0,0000001) mm berechnet, wird von den Dynamiden mit verhältnismäßig sehr großen Zwischenräumen gebildet und setzt daher den kathodischen Trägern der Elektrizität bei ihrem Durchgange nur sehr geringen Widerstand entgegen. Da dieser Widerstand mit wachsender

[12] Ein übersichtliches Referat der in *Drudes* Annalen der Physik 12, 714—744 (1903) erschienenen Originalarbeit in der Naturwissenschaftl. Rundschau 1903, S. 661 ff.



Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen abnimmt, so werden die Dynamiden wiederum als elektrische Kraftfelder betrachtet mit einem undurchdringlichen Zentralkörper, der eigentlichen Materie, deren Querschnitt kleiner sein muß, als der kleinste absorbierende Querschnitt des Dynamidenfeldes. Aus der spezifischen Absorption des Wasserstoffs und der Zahl seiner Moleküle im Kubikzentimeter berechnet *Lenard* den Halbmesser dieser Zentralkörper, den „wahren Dynamidenradius" auf kleiner als $0{,}3 \times 10^{-10}$ ($=0{,}00000000003$) mm: Als Kern dieser Dynamidenkraftfelder ist ein Paar elektrischer Quanten oder Elektronen anzunehmen, welches sich in dauernder rotierender Bewegung befindet.

Im Verlauf seiner Berechnungen kommt *Lenard* zu dem Schluß, daß beispielsweise der Raum, in welchem ein Kubikmeter festes Platin sich befindet, leer ist bis auf höchstens ein Kubikmillimeter gesamtes wahres Dynamidenvolumen.

Wenn die Materie der Physiker so sehr zusammenschrumpft, fühlt man sich unwillkürlich versucht zu fragen: wozu noch dieser winzige Rest? Warum sollen wir nicht alle Materie aufgeben?

Von naturwissenschaftlicher Seite wurde dieser entscheidende Schritt schon vor fast 10 Jahren durch *Wilhelm Ostwald* gemacht, welcher auf der Naturforscherversammlung zu Lübeck 1895 die „Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus" verkündete. An Stelle der mechanistischen Weltauffassung setzt *Ostwald* die energetische. Was wir von der Außenwelt wahrnehmen, sind lediglich Energieunterschiede; die Materie konstruieren wir uns erst nachträglich hinzu. Die Energie ist die überhaupt einzigste Naturgröße, welche neben den Anschauungsformen



Raum und Zeit allen Gebieten gemeinsam ist. Durch diesen Begriff werden die Unzulänglichkeiten und Schwierigkeiten der alten dualistischen Auffassung vermieden, und es wird nicht nur die Kluft zwischen Kraft und Stoff, sondern auch zwischen Geist und Materie überbrückt. Das von *Julius Robert Mayer* (1814—1878) aufgestellte Gesetz von der Erhaltung der Kraft umfaßt dieses Gebiet der ganzen Energie, deren Gesamtsumme unverändert bleibt, die aber die Fähigkeit hat, qualitative Umwandlungen aller Art zu erleiden. So ist die Materie lediglich als eine räumlich zusammengefügte Gruppe verschiedener Energiearten anzusehen. Diese energetische Anschauungsweise, welche nur mit Wirkungen, Tätigkeiten, also Prädikatsbegriffen operiert, ohne sich über den Träger der Eigenschaften, das Subjekt der Tätigkeiten, Vorstellungen zu machen, ja ohne überhaupt derartiges anzunehmen, erfüllt die *Kirchhoff*'sche Forderung einer exakten Naturbeschreibung im höchsten Maße.

Neuerdings hat *Ostwald*[13] auch versucht, die stöchiometrischen Grundgesetze lediglich aus den Gesetzen der chemischen Dynamik, ohne Zuhülfenahme der Atomtheorie, abzuleiten, indem er Anschauungen weiter verfolgte, wie sie zuerst von *Franz Wald* in dieser Weise geltend gemacht wurden. Danach sind chemische Individuen als Körper zu bezeichnen, welche innerhalb eines bestimmten Gebietes der Temperatur und des Druckes „hylotrope" Phasen bilden.

Werfen wir zum Schluß einen kurzen Blick zurück.

Wie wir gesehen haben, zieht sich durch die gesamte Geschichte der Philosophie und der Naturwissenschaften, bisweilen zurückgedrängt, aber immer wieder hervortretend,

[13] „Elemente und Verbindungen", *Faraday*-Vorlesung in der Royal Institution zu London am 19. April 1904.

die atomistische Anschauung, deren Gewand in den verschiedenen Zeiten und bei den verschiedenen Denkern wohl wechselt, die aber in ihrem letzten Kerne unverändert bleibt.

„Das Atom ist nicht ein transzendentes Ding an sich", wie *Kurd Laßwitz* sagt[14], „sondern ein zu den Bedingungen der Erkenntnis gehörender Begriff, der dort hervortritt, wo wir unser Erkennen auf die empirische Körperwelt richten." In diesem Sinne haben wir auch die chemische Atomtheorie und vor allen Dingen die Stereochemie aufzufassen. Dieses Bewußtsein ist nicht immer bei den praktischen Forschern lebendig gewesen. Abgesehen davon, daß die Formelbilder nur die quantitativen Stoffverhältnisse bei den chemischen Reaktionen und den hypothetischen Molekularmechanismus zum Ausdruck bringen, ohne auf die dabei stattfindenden Energieänderungen Rücksicht zu nehmen, so haben die Chemiker doch auch öfters vergessen, daß es nur Zeichen, nicht einmal Bilder sind, mit denen sie operieren und daß diese Formeln der Wirklichkeit nicht ähnlicher zu sein brauchen, als etwa der Buchstabe N oder C dem wirklichen Stickstoff- oder Kohlenstoffatom.[15]

Denn auch die Stereochemie ist nicht die einzig mögliche konsequente Durchführung der räumlichen Atomistik. Mit dem gleichen Rechte könnte man z. B. die Atome, ohne ein Chaos annehmen zu müssen, innerhalb der Moleküle umeinander rotierend, gewissermaßen als kleine Planeten-

---

[14] Geschichte der Atomistik vom Mittelalter bis *Newton* (2 Bde. Hamburg und Leipzig 1890), I. Bd., S. 383.

[15] So kommt z. B. *William A. Noyes* in seinem auf dem internationalen Kongreß in St. Louis am 21. September 1904 gehaltenen Vortrage über „gegenwärtige Probleme der organischen Chemie" (deutsche Übersetzung in der Naturwissenschaftlichen Rundschau 1905, Nr. 1, 2, 3) zu dem Schluß, „daß die Valenztheorie und Strukturtheorie bezüglich der Aufeinanderfolge der Atome innerhalb des Moleküls durch unsere Kenntnis einer so großen Menge von zusammenhängenden Erscheinungen gestützt werden, daß wir berechtigt sind zu glauben, wir haben positive Kenntnis von der Struktur der Moleküle organischer Verbindungen".

systeme sich denken, und die Isomerieerscheinungen ließen sich etwa durch Verschiedenheiten in den Umlaufsbahnen und -geschwindigkeiten erklären. Dabei sollen die außerordentlichen Vorzüge der stereochemischen Anschauungsweise nicht verkannt werden; die organische Chemie besonders wird sie, obwohl wir schon an einigen Stellen an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit angekommen zu sein scheinen, voraussichtlich noch auf lange Zeit als wertvollste Führerin durch das sonst schier unentwirrbare Gebiet der chemischen Verbindungen nicht entbehren können.

Andererseits bietet auch die Energetik eine theoretische Grundlage, von der aus sich eine große Reihe von Erscheinungen einheitlich deuten lassen. Will man sie aber, ohne jede andere Hypothese, auf alle Gebiete anwenden, so macht sich sehr bald ein ziemlicher Mangel an Anschaulichkeit bemerkbar, welche die Atomtheorie in so hohem Maße auszeichnet. Ob es daher der Energetik gelingen wird, die Atomistik aus allen Forschungsgebieten, z. B. der theoretischen Optik und der organischen Chemie, zu verdrängen, muß die Zukunft lehren.

Mit *Wundt*[16] werden wir das Merkmal einer brauchbaren Theorie der Materie nicht darin erblicken, daß sie Vorstellungen entwickelt, welche den Erscheinungen der empirischen Körper gleichen, sondern, daß sie Begriffe feststellt, aus denen diese Erscheinungen abgeleitet werden können.

Die Aufgabe der exakten Naturwissenschaften ist nicht mit einer „Inventuraufnahme“ der beobachteten Mannigfaltigkeiten erledigt. In den bunten Wechsel der Erscheinungen ist vielmehr ein einheitlicher innerer Zusammenhang zu bringen; die einzelnen Vorgänge sind nicht nur genau zu beschreiben, sondern auch (bis zu einem gewissen Grade) zu erklären: ihre Wechselbeziehungen sind nach

[16] System der Philosophie (2. Aufl., Leipzig 1897), S. 453.

Grund und Folge aufzudecken. Entsprechen die angenommenen Grundvorstellungen dieser Forderung, gestatten sie, aus einem gegebenen Naturzustande unter den erforschten Bedingungen den daraus folgenden theoretisch richtig abzuleiten, so ist unser Kausalbedürfnis befriedigt, ihre Aufgabe erfüllt.

Bei alledem ist es jedoch eine andere Frage, ob eine Theorie lediglich als Arbeitshypothese für die naturwissenschaftliche Forschung dienen soll, oder ob wir sie zur Grundlage einer Weltanschauung machen. Soll sie in der Beziehung unseren letzten Ansprüchen genügen, so muß sie nicht nur mit den Tatsachen unserer äußeren, sondern auch mit denen unserer inneren Erfahrungen zusammenstimmen. Bei einer solchen Weltanschauung müßte daher vor allem die Grundtatsache berücksichtigt werden, die das Erste und Letzte aller Erfahrung ist, nämlich, daß ich etwas erfahre, daß ein Subjekt da ist, welches leidet und handelt. Der Analogieschluß, daß die äußeren Wirkungen auch von Subjekten ausgehen, ist dann allerdings schon ein Schritt ins Gebiet der Hypothese, den zu machen oder zu unterlassen von der Entscheidung des einzelnen abhängt.

Jedoch muß noch betont werden, daß man sich unter diesen Subjekten durchaus nicht ein ruhendes Etwas, eine träge Materie, einen toten Stoff, dem die lebendige Kraft an- oder umgehängt wird, zu denken hat, daß man sie vielmehr als qualitativ bestimmte Tätigkeitszentren oder Willenseinheiten im Sinne von *Wundt* oder *Wyneken* annehmen kann. Dieser Schritt ins Gebiet der Hypothese dürfte also weniger ein Sprung ins Leere, als vielmehr ein Brückenschlagen auf festes Land sein. Dort liegt das jenseitige Fundament der Brücke, welche unsere Erkenntnis mit der Außenwelt verbindet, und deren anderer Endpfeiler auf

dem sicheren Grunde unseres persönlichen Selbstbewußtseins ruht.

Es ergibt sich demnach als Analogieschluß die Annahme von Subjekten außer uns, welche auf uns und auf welche wir wirken. Und diese Subjekte sind als unendlich viele, qualitativ verschiedene, aber bestimmte Einheiten zu denken, da sich sonst die Mannigfaltigkeit der Erscheinungswelt nicht erklären ließe. Denn wie aus absolut Gleichem Ungleiches, aus Quantität Qualität hervorgehen soll, ist unverständlich. Ob man solche Einheiten als Monaden, Kraftpunkte, Energie- oder Willenszentren, Dynamonaden oder anders bezeichnet, ist ziemlich gleichgültig. Der Name „Atom" hat jedoch einen materialistischen Beigeschmack, deutet auch mehr das Letzte der Teilung als das Erste der Zusammensetzung an.

Die materialistische Atomistik ist jedenfalls für die Philosophie als überwunden anzusehen; denn die träge Materie und die wirksame Kraft sind zwei sich gegenseitig ausschließende Begriffe. Ihr gegenüber bedeutet die Energetik einen großen Schritt vorwärts. Aber auch diese Richtung dürfte philosophisch nicht einwandsfrei sein, weil der Energiebegriff den des Energieträgers nicht überflüssig macht, sondern fordert.

Für die ganze energetische Anschauungsweise gewinnt man überhaupt erst das richtige philosophische Verständnis, wenn man von *Wundt* ausgeht, und zwar von *Wundts* Ablehnung des alten Substanzbegriffes, in welchem er immer noch einen materiellen Kern wittert; während wir doch keinen Kern bestimmen können, der nicht Tätigkeit wäre. Daher faßt *Wundt* seine Willenseinheiten auch nicht als tätige Substanzen, sondern als „substanzerzeugende Tätigkeiten" auf; denn die Substanz als immerwährendes Beharren ist ihm der volle Gegensatz zum unablässigen Werden und Geschehen des absolut tätigen Willens. Allerdings,

nimmt man die Wirkungen, den tätigen Willen fort, so bleibt keine Substanz, bleibt nichts. Aber diese Fortnahme kann man überhaupt nicht in Wirklichkeit, sondern nur gedanklich ausführen. Mit der letzten Einheit ist das Attribut der Tätigkeit unauflöslich verbunden, und das „Wesen" dieser letzten Einheiten, d. h. nach *Lotze* „wie sie gemacht werden", bleibt unbekannt. Da hat *Kant* wieder recht. Aber wir unterscheiden begrifflich die an sich vorhandene Willenseinheit und die konkrete Willenstätigkeit, Substanz und Akzidenz, gerade so, wie wir Subjekt und Prädikat, Wille und Tätigkeit gedanklich voneinander trennen und nach unserer Naturanlage, oder wie *Wyneken*[17] zeigt, nach dem Naturgesetz der Seele, voneinander trennen müssen.

Nimmt man die Existenz solcher Krafteinheiten oder Willenszentren an, so lassen sich deren wechselnde Verhältnisse zu einander oder ihre verschiedenen Zustände auf drei Grundtypen zurückführen. Die gegenseitige Wirkungsweise zweier solcher „Dynamonaden" kann nämlich derartig sein, daß 1) die eine durch die andere überwältigt wird, 2) durch Reaktion ein Gleichgewicht zustande kommt, und daß 3) die eine die andere überwältigt. Diese drei Zustandsphasen, denen psychologisch die drei Seelenfunktionen Fühlen, Erkennen, Wollen entsprechen, macht *Wyneken* zur Grundlage seines „Naturgesetzes der Seele", und seine Ausführungen zeigen, wie sich auf den verschiedensten Wissenschaftsgebieten von dieser einfachen Grundvorstellung aus oft die überraschendsten Aufschlüsse und Ausblicke ergeben.

Der Naturforscher darf sich nur insoweit von abstrakten Ideen leiten lassen, als ihm das zu einer widerspruchslosen Erklärung der experimentell gefundenen Tat-

[17] „Das Ding an sich und das Naturgesetz der Seele", S. 252.

sachen erforderlich erscheint. Die anschauliche, sinnlich wahrnehmbare Natur ist und bleibt die letzte Instanz, an deren Äußerungen wir unsere Begriffe zu prüfen haben; und da scheint es, als ob für die hier berührten Fragen von dem Studium der radioaktiven Stoffe noch mancherlei Wertvolles zu erwarten sei. Schreibt die Natur in diesem Gebiet auch mit Zügen, die uns noch ungewohnt und schwer leserlich sind, so sind doch gerade diejenigen Handschriften, welche sich am schwierigsten entziffern lassen, für den Graphologen die interessantesten.

Schließlich malt sich ja ein jeder das Weltbild mit den Farben seiner Palette, und man weiß, welch ein schwieriges Problem es ist, Farben von unbegrenzter Dauer und unveränderlicher Haltbarkeit herzustellen. Liegt in dieser Verschiedenheit der Auffassungen etwas Unbefriedigendes, so muß uns die Zuversicht trösten, einem bestimmten Ziele, wenn auch nur schrittweise, doch allmählich näher zu kommen. Denn nicht der ungestörte Besitz der Wahrheit ist es, der uns glücklich macht; der ganze Reiz wissenschaftlicher Betätigung besteht vielmehr in dem Suchen danach, in dem Forschen, und im — Finden.

Literatur

(alphabetisch geordnet).

E. du Bois-Reymond, Über die Grenzen des Naturerkennens. Die sieben Welträtsel. Zwei Vorträge. (9. [I. Vortr.] und 5. [II. Vortr.] Aufl., Leipzig 1903.)

Ludwig Büchner, Kraft und Stoff oder Grundzüge der natürlichen Weltordnung. (Neueste Aufl., Leipzig 1904.)

W. Crookes, Die Genesis der Elemente. Deutsch von *W. Preyer*. (2. Aufl., Braunschweig 1895.)

S. Curie, Untersuchungen über die radioaktiven Substanzen. Deutsch von *W. Kaufmann*. „Die Wissenschaft", I. Heft. (3. Aufl., Braunschweig 1904.)

H. Czolbe, Die Grenzen und der Ursprung der menschlichen Erkenntnis, im Gegensatz zu *Kant* und *Hegel*. Naturalistisch-teleologische Durchführung des mechanischen Prinzips. (Jena und Leipzig 1865.)

F. Dammermann, Grundriß der Geschichte der Naturwissenschaften. (2 Bde., Leipzig 1902.)

Joh. Ed. Erdmann, Grundriß der Geschichte der Philosophie. (2 Bde., 4. Aufl., Berlin 1895/96.)

Gust. Theod. Fechner, Über die physikalische und philosophische Atomenlehre. (2. Aufl., Leipzig 1904.)

Kuno Fischer, Einleitung zur Geschichte der neueren Philosophie. (5. Aufl., Heidelberg 1902.)

A. Hantzsch, Grundriß der Stereochemie. (2. Aufl., Leipzig 1904.)

G. Helm, Die Energetik nach ihrer geschichtlichen Entwicklung. (Leipzig 1898.)

W. Hinrichsen, Über den gegenwärtigen Stand der Valenzlehre. (In der Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge, Stuttgart 1902.)

J. H. van't Hoff, Die Lagerung der Atome im Raume. (2. Aufl., Braunschweig 1894.)

H. Kolbe, Über die chemische Konstitution der organischen Kohlenwasserstoffe. Vortrag. (Braunschweig 1869.)

H. Kopp, Geschichte der Chemie. (4 Bde., Braunschweig 1843—47.)

— Beiträge zur Geschichte der Chemie. (Braunschweig 1869.)

A. Ladenburg, Die Entwicklung der Chemie in den letzten zwanzig Jahren. (In der Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge, Stuttgart 1900.)

Fr. Alb. Lange, Geschichte des Materialismus. (2 Bde., 7. Aufl. von *H. Cohen,* Leipzig 1902).

Kurd Laßwitz, Geschichte der Atomistik vom Mittelalter bis *Newton.* (2 Bde., Hamburg und Leipzig 1890.)

P. Lenard, Über die Absorption von Kathodenstrahlen verschiedener Geschwindigkeit. (Naturwissenschaftliche Rundschau 1903, Nr. 52.)

D. J. Mendelejeff, Versuch einer chemischen Auffassung des Weltäthers. (Prometheus 1904, Nr. 735—38. Naturwissenschaftliche Rundschau 1904, Nr. 22, 23.)

E. von Meyer, Geschichte der Chemie. (3. Aufl., Leipzig 1905.)

Viktor Meyer, Probleme der Atomistik. Vortrag. (Heidelberg 1896.)

Jac. Moleschott, Der Kreislauf des Lebens. (2 Bde., 5. Aufl., Mainz und Gießen 1875—86.)

W. A. Noyes, Gegenwärtige Probleme der organischen Chemie. Vortrag. (Naturwissenschaftliche Rundschau 1905, Nr. 1—3.)

W. Ostwald, Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus. Vortrag. (Leipzig 1895.)

— Vorlesungen über Naturphilosophie. (2. Aufl., Leipzig 1902.)

— Elemente und Verbindungen. *Faraday*-Vorlesung. (Leipzig 1904.)

W. Ramsay, Einige Betrachtungen über das periodische Gesetz der Elemente. Vortrag. (Leipzig 1903.)

H. E. Roscoe und *A. Harden,* Die Entstehung der *Dalton*'schen Atomtheorie in neuer Beleuchtung. Deutsch von *G. W. A. Kahlbaum.* (Leipzig 1898.)

G. C. Schmidt, Die Kathodenstrahlen. „Die Wissenschaft", II. Heft. (Braunschweig 1904.)

Alb. Schwegler, Geschichte der Philosophie im Umriß. Herausgegeben von *J. Stein.* (Leipzig, Reclam.)

Karl Snyder, Das Weltbild der modernen Naturwissenschaft nach den Ergebnissen der neuesten Forschungen. Deutsch von *Hans Kleinpeter.* (Leipzig 1905.)

Fr. Soddy, Die Entwicklung der Materie enthüllt durch die Radioaktivität. *Wilde*-Vorlesung. (Leipzig 1904.)

Fr. Strunz, Naturbetrachtung und Naturerkenntnis im Altertum. (Hamburg und Leipzig 1904.)

J. J. Thomson, Elektrizität und Materie. Deutsch von *G. Siebert.* „Die Wissenschaft", III. Heft. (Braunschweig 1904.)

Überweg-Heinze, Grundriß der Geschichte der Philosophie. (2 Bde., 9. Aufl. Berlin 1903 und 1905.)

Carl Vogt, Physiologische Briefe für Gebildete aller Stände. (4. Aufl., Gießen 1874.)

Carl Vogt, Köhlerglaube und Wissenschaft. (3. Aufl., Gießen 1856.)
P. Walden, Fünfundzwanzig Jahre stereochemischer Forschung. (Naturwissenschaftliche Rundschau 1900, Nr. 12—16.)
E. Wedekind, Stereochemie. (Sammlung *Göschen*, Leipzig 1904.)
W. Windelband, Geschichte der alten Philosophie. (2. Aufl., München 1894.)
C. J. H. Windischmann, Die Philosophie im Fortgange der Weltgeschichte. I. Teil: Die Grundlage der Philosophie im Morgenland. (3 Bde., Bonn 1827—34).
W. Wundt, System der Philosophie. (2. Aufl., Leipzig 1897.)
E. F. Wyneken, Das Ding an sich und das Naturgesetz der Seele. (Heidelberg 1901).
Ed. Zeller, Grundriß der Geschichte der griechischen Philosophie. (6. Aufl., Leipzig 1901.)

Namenregister.

Sachregister.



C. F. Winter'sche Buchdruckerei.

lle für 1905 entnommen.

uppe VI	Gruppe VII	Gruppe VIII		
MX_2 MO_3	MX M_2O_7	MO_3	MO_2	MO
stoff 16,00	Fluor F = 19			
Schwefel S = 32,06	Chlor Cl = 35,45			
n 52,1	Mangan Mn = 55,0	Eisen Fe = 55,9	Cobalt Co = 59,0	Nickel Ni = 58,7
Selen Se = 79,2	Brom Br = 79,96			
dän 96,0		Ruthenium Ru = 101,7	Rhodium Rh = 103,0	Palladium Pd = 106,5
Tellur Te = 127,6	Jod J = 126,97			
ym (?) = ,5	Samarium (?) Sa = 150,3			
	Thulium (?) Tu = 171			
olfr W =		Osmium Os = 191	Iridium Ir = 193,0	Platin Pt = 194,8
Uran U =				